

光纤 AM CATV 外调制发射机的 预失真补偿

蒋洪涛* 查开德

(清华大学电子工程系 北京 100084)

提要 首先对光纤 AM CATV 外调制发射机的非线性预失真补偿作了理论分析,在此基础上设计制作了基于热载流子二极管的预失真补偿电路,实际测试结果表明:在 50~ 200 MHz,对三次失真抑制最小达 12 dB,最大达 32 dB,同时对二次失真没有影响。

关键词 CATV, 外调制, 预失真

1 引 言

近几年,光纤 AM CATV(调幅有线电视)传输发展十分迅速。目前,由于器件水平和价格等因素,CATV 的传输、分配网络采用光纤电缆混合传输(HFC: Hybrid Fiber/Coax)结构,但最终的发展趋势必将是光纤入户(FTTH: Fiber to the Home)。相对于 FM 和数字传输,AM 传输对发射机和传输链路的噪声和线性提出了更高的要求,一般是 $CNR > 55$ dB(CNR : Carrier Noise Ratio), $CSO > 65$ dB(CSO : Composite Second-order Distortion), $CTB > 60$ dB(CTB : Composite Triple-beat Distortion)。对这样苛刻的要求,不管是直接调制还是外调制发射机,如不进行非线性补偿,都不可能达到上述指标。直接强度调制硬件相对简单,其研究和走向使用较早,非线性补偿技术已走向成熟,国内也对此进行了研究,目前 AM CATV 光纤传输系统中使用的绝大多数是这种发射机。外调制方式用于 CATV 传输研究较迟,直到去年才有外调制产品问世。外调制方式具有高输出功率、无频率啁啾、对链路反射不敏感、可本征消除复合二次失真等优点,但外调制所用调制器的传输函数一般是非线性的,如 MZ 型为余弦函数,而电吸收型为指数曲线等,因而对其进行非线性补偿比直接调制更为迫切,这也是外调制走向实用所必须解决的主要问题。国外对这一课题进行了大量的研究,出现了基于激光器的光学前馈^[1]、基于场调制器的光学前馈^[2]、调制器级联^[3]、调制器并联^[4]、预失真^[5,6]、双调制^[7]等补偿方法,这些方法各有优缺点,但预失真补偿最受青睐,原因就是其电路实现简单,成本低,而且可达到较高的指标,目前商品化发射机都采用这种方法。本文首先对基于平衡桥干涉型(BBI: Balanced Bridge Interferometer) LiNbO₃ 调制器的预失真补偿作一理论分析,然后给出电路设计和实验结果。

* 中国矿业大学,现在清华大学电子工程系作博士论文。

2 预失真补偿的理论分析

以最常用的,同时也是最先进的 BBI 型调制器进行分析,其传输函数可表示为^[7]

$$P_{\pm} = \langle \dot{p} \rangle \left| 1 \pm \sin \left[\frac{\pi}{V_{\pi}} (V_B + V) + \Phi_0 \right] \right| \quad (1)$$

其中 $\langle \dot{p} \rangle$ 为平均输出光功率, V_{π} 为半波电压, V_B 为直流偏置电压, V 为外加交流调制信号, Φ_0 为本征相位, \pm 对应上下二根光纤输出。如 V_B 设置于最佳偏置点, 则(1)式变为

$$P_{\pm} = \langle \dot{p} \rangle \left| 1 \pm \sin \left[\frac{\pi}{V_{\pi}} V \right] \right| \quad (2)$$

上式是关于交流调制信号 V 的奇函数, 因而对调制器的补偿仅限于奇次, 这有别于直接调制。预失真补偿

就是在信号输入和调制器间插入非线性网络, 使光输出对初始输入调制信号呈线性关系, 如图 1 所示。

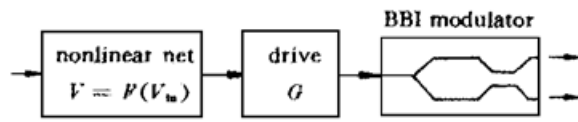


图 1 预失真补偿模型

Fig. 1 Predistortion linearization model

设非线性网络传输函数为 $V = f(V_{in})$, 驱动器增益为 G , 并忽略一切与频率有关的响应, 则(2)式变为

$$P_{\pm} = \langle \dot{p} \rangle \left| 1 \pm \sin \left[\frac{\pi}{V_{\pi}} G f(V_{in}) \right] \right| \quad (3)$$

可以证明, 如果 $f(V_{in})$ 具有下列形式

$$f(V_{in}) = \alpha_1 V_{in} + \alpha_3 V_{in}^3 + O(V_{in}^5) \quad (4)$$

且 α_1, α_3 具有如下关系

$$\frac{\pi}{V_{\pi}} G = \sqrt{\frac{6\alpha_3}{\alpha_1^3}} \quad (5)$$

则光功率和输入射频信号在忽略 5 次项时成线性关系, 即

$$P_{\pm} = \langle \dot{p} \rangle \left| 1 \pm \frac{\pi}{V_{\pi}} G \alpha_1 V_{in} + O(V_{in}^5) \right| \quad (6)$$

因而如果非线性网络、驱动器增益和调制器半波电压满足(5)式, 则可消除调制器产生的三次失真, 显然预失真网络的传输函数(4)式为奇函数。

3 预失真电路设计

图 2 是一个预失真产生电路及其等效电路^[7,8], 它类似于单管平衡混频器。设二极管的传输函数为

$$I = I_s [e^{V/V_T} - 1] \quad (7)$$

I_s 为反向饱和电流, V_T 为热电压。图 2(b) 中 R_s 为信号源内阻, R_0 为负载电阻, N 为单边二极管

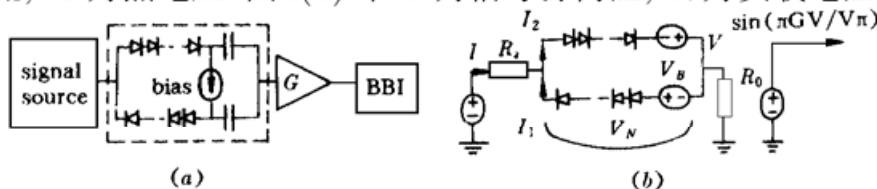


图 2 预失真补偿电路 (a) 及其等效电路 (b)

Fig. 2 Predistortion linearization circuit (a) and its equivalent circuit (b)

个数, 电路其它符号的意义如图所示。根据电流 KCL 定律

$$I = I_2 - I_1 = I_s \left[e^{(V_B + V_N)/(NV_T)} - 1 \right] - I_s \left[e^{(V_B - V_N)/(NV_T)} - 1 \right] \quad (8)$$

化简可得

$$I = 2I_B \sinh \left[\frac{V_N}{NV_T} \right] \quad (9)$$

其中

$$I_B = I_s e^{V_B/NV_T} \quad (10)$$

对(9) 式进行代数变换和级数展开, 并利用 $V = R_0 I$, 则可求出这个非线性网络的传输函数为

$$V = \left[\frac{R_0}{R_s + R_0 + R_1} \right] V_{in} + \left[- \frac{R_0 R_3}{(R_s + R_0 + R_1)^4} \right] V_{in}^3 + O(V_{in}^5) \quad (11)$$

其中

$$R_1 = \frac{NV_T}{2I_B} \quad (12a)$$

$$R_3 = - \frac{NV_T}{48I_B^3} \quad (12b)$$

对应于(5) 式

$$\left[\frac{\pi G}{V_\pi} \right]^2 = \frac{NV_T}{8R_0^2(R_s + R_0)I_B^3 + 4NV_T R_0^2 I_B^2} \quad (13)$$

在上式中, 只有 I_B (因而 V_B) 和 G 是可变的, 因而主要调整 V_B 和 G , 使(13) 式成立。图 2 只是基本电路, 在实用中必须进行多方面的考虑: 如电路的对称型、频响等。事实上, 在整个推导过程中, 我们没有考虑与频率有关的响应, 而实际上这是不可能的, 同时也是比较难处理的。

4 实验结果

基于图 2, 我们设计制作了预失真补偿电路, 并进行了初步性能测试。实验中选用了热载流子二极管 WH01, 预失真电路如图 3, 测试结果如图 4。

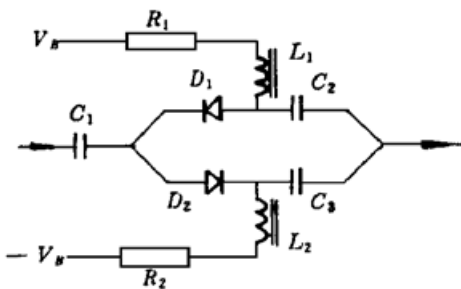


图 3 一个基于热载流子二极管 WH01 的预失真电路
Fig. 3 A concrete predistortion circuit based on WH01 diodes

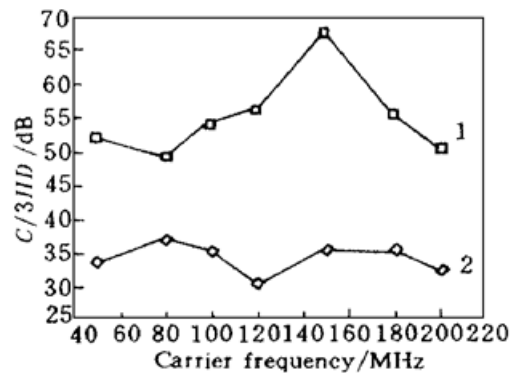


图 4 有(1)、无(2) 预失真补偿电路的三次谐波抑制
Fig. 4 3HD suppression with (1) and without (2) the predistortion circuit

从测量结果看, 在 50~ 200 MHz, 补偿效果最低达 12 dB, 最大达 32 dB。在 200 MHz 以上补偿效果不好。这一方面是由于所选用的热载流子二极管工作频率低所致; 另一方面, 接收机频带只有 550 MHz, 载波频率超过 200 MHz 后, 测量结果也不能反映实际情况。在实验中, 确实看到了频响对补偿效果的影响: 在某频点调整好后, 换成其它频点, 则三次失真不同程度地出现。图 5 为对 100 MHz 调整好后, 在其它频点测得的非线性网络的各次谐波幅度(未经过驱动器)。从曲线可以看出: 输出特性在低频时较好, 表现在一次和三次谐波幅度有相同的变化趋势, 同时二次谐波幅度很低, 最少比基波低 40 dB, 参见图 5 (a)。而在频率高时较差, 参见图

5(b)。针对这个问题,我们已有相应的解决方法。

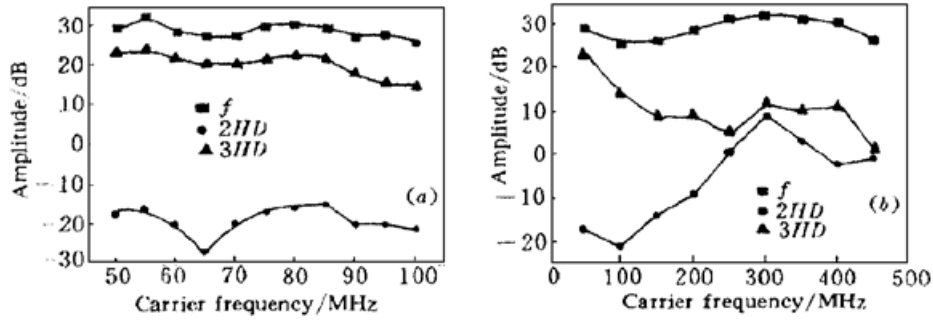


图 5 预失真电路的谐波输出。(a) 50~100 MHz; (b) 50~200 MHz

Fig. 5 Predistortion circuit's harmonic amplitude from 50~100 MHz (a) and 50~200 MHz (b)

参 考 文 献

- 1 R. Ridder, S. K. Korotky. Feedforward compensation of intergrated optical modulator distortion. *Tech. Dig. OFC'90*, San Francisco, CA, 1990, WH5, 78
- 2 J. D. Farina, B. R. Higgins, J. P. Farina. New linearized technology for analog fiber-optic links. *THR6, OFC'96*, San Jose, California, Feb. 25-Mar. 1, 1996: 283~285
- 3 W. K. Burns. Linearized optical modulator with fifth order correction. *J. Lightwave Tech.*, 1995, **13** (8): 1724~1727
- 4 J. L. Brooks, G. S. Maurer, R. A. Becker. Implementation and evaluation of a dual parallel linearization system for AM-SCM video transmission. *J. Lightwave Tech.*, 1993, **11**(1): 34~41
- 5 C. B. Childs, V. A. Obyrne. Predistortion linearization of directly modulated DFB laser and external modulators for AM video transmission. *Tech. Dig. OFC'90*, San Francisco, CA, 1990, WH6, 79
- 6 M. Nazarchy, J. Berger, A. J. Ley *et al.*. Progress in externally modulated AM CATV transmission systems. *J. Lightwave Tech.*, 1993, **11**(1): 82~105
- 7 S. P. Dye, N. J. Gomes. Dual-modulation compensation for optical intensity modulator nonlinearities. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1996, **8**(1): 72~74
- 8 Manfred Bertelsmeier, Willmut Zschunke. Linearization of broadband optical transmission system by adaptive predistortion. *Frequency*, 1984 (9): 206~212

Predistortion Linearization of the Optical Fiber AM CATV Externally Modulated Transmitter

Jiang Hongtao Zha Kaide

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract In this paper, theoretical analysis is presented on predistortion linearization of the optical fiber AM CATV externally modulated transmitter, and a circuit is designed based on Schottky diodes. Experimental results show that this predistortion circuit suppresses the third order harmonic (3HD) at least 13 dB from 50 MHz to 200 MHz, and has no effect on the second order harmonic (2HD) in the same time.

Key words CATV, externally modulated transmitter, predistortion